Gefügekundliche Untersuchungen an Anhydritgesteinen im Benther Salzstock (Werk Ronnenberg) bei Hannover

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Walfried Schwerdtner aus Zittau

1960

Erster Gutachter: Professor Dr. M. Richter

Zweiter Gutachter: Professor Dr. K. R. Mehnert

Dritter Gutachter: Professor Dr. Paulitsch

Tag der mündl. Prüfung: 16. Jan. 1961

Tag der Promotion: 16. Okt. 1961

Gefügekundliche Untersuchungen an Anhydritgesteinen im Benther Salzstock (Werk Ronnenberg) bei Hannover

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Doktorwürde

der

Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät

der Freien Universität Berlin

vorgelegt von

Walfried Schwerdtner aus Zittau

Lebenslauf

Am 27. Juni 1934 wurde ich in Zittau geboren. Meine Eltern sind der Bäckermeister Martin Schwerdtner und seine Ehefrau.

Ab 1940 besuchte ich die Volksschule in Marienthal bei Ostritz, dem Wohnsitz meiner Eltern, und anschließend die Oberschule in Zittau. 1953 legte ich dort mein Abitur ab.

Noch im gleichen Jahr bewarb ich mich an mehreren Universitäten der Sowjetzone um die Zulassung zum Studium der Geologie. Als ich in allen Fällen keine Zulassung erhielt, ging ich nach West-Berlin. Hier wurde ich nach Ablegung eines Zusatzabiturs an der Karl-Friedrich-von-Siemens-Schule an der Freien Universität zum Wintersemester 1954/55 immatrikuliert.

Im Februar 1957 bestand ich die Diplom-Vorprüfung. Im März 1958 erhielt ich eine Kartierungsaufgabe im Höferschen Salzhorst bei Celle. Diese Kartierung konnte ich zur Diplom-Arbeit ausbauen.

Im Mai 1959 legte ich die Diplom-Prüfung ab. Anschließend begab ich mich nach Hannover, wo ich im Kaliforschungsinstitut e. V. bis zum Sommer 1960 wissenschaftliche Untersuchungen im Rahmen meiner Dissertation durchführte.

Im Mai 1960 ließ ich mich exmatrikulieren. Meine akademischen Lehrer waren die Herren Professoren Dr. Drawert, Dr. Jahr, Dr. Lassen, Dr. Lautsch, Dr. Mehnert, Dr. M. Richter, Dr. Schönenberg und Dr. Ulrich.

Berlin, den 1. Dezember 1960

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderabdruck aus: Kali und Steinsalz, Heft 6/1961 S. 173/82. Essen: Verlag Glückauf.

Korngefügeuntersuchungen an Anhydritgesteinen im Benther Salzstock (Werk Ronnenberg) bei Hannover

Von Walfried Schwerdtner, Kiel[1]

Einführung in die Problematik

Zur Fortführung der Untersuchungen von K. Lamcke [16][2], der im selben Salzhorst (Werk Hansa) stark geregelte Korngefüge nicht orientierter Handstücke des Hauptanhydrits vermessen hat, wurden orientierte Proben entnommen, so daß die geregelten Korngefüge auf die Salzstrukturen, aus denen sie stammen, direkt bezogen werden können[3]. Die Salzstrukturen haben meist die Formen von Falten, können aber trotzdem Beulen sein. Während die Falten B-Tektonite sind, zeichnen sich Beulen durch angenäherte Radiersymmetrie der Lineationen und durch das Fehlen von Einengungen senkrecht zu B-Achsen aus; vgl. Metz [22, S. 44].

Eine rein gefügeanalytische Klärung, ob Beulen oder Falten vorliegen, war wegen des Fehlens einer genügend großen Zahl von Aufschlüssen an verschiedenen Punkten e i n e r Struktur noch nicht möglich. Deshalb beschränkten sich die Untersuchungen darauf, die Gefüge in e i n i g e n solcher Strukturen an den jeweils wenigen zugänglichen Punkten zu untersuchen. Obwohl diese verschiedenen Strukturen auch zufällig in verschiedenen Bereichen aufgeschlossen sind (beispielsweise verschieden weit vom Scheitel entfernt), ist es nicht erlaubt, aus der Summe aller untersuchten Aufschlüsse eine gedachte Struktur mit genügend vielen Aufschlüssen zusammenzusetzen und dann die Frage, ob Beulen oder Falten vorliegen, zu entscheiden. Es ist gefügeanalytisch noch nicht ausgeschlossen, daß die vorliegenden Strukturen verschieden überprägte trikline B-Tektonite sind. Würden alle untersuchten Aufschlüsse mit Sicherheit aus Beulen stammen, so wäre eine Vereinigung aller verschiedenen Aufschlüsse zu einer gemeinsamen Struktur möglich.

B. Sander [31a, S. 103] möchte die Frage wie folgt beantworten:

> „Sollten sich nun Fälle finden, in welchen überhaupt keine Faltenachse vorhanden ist, sondern das ganze Gebilde einem Schlauch bis einer Warze gleicht, so fehlt das wesentlichste Merkmal einer Falte, und die Gebilde sind besser anders zu bezeichnen."

Im Benther Salzhorst sind einige solcher Gebilde in angenäherter Form zu finden. Viele Strukturen besitzen jedoch Faltenformen. Tschöpke und Karl [36] beschreiben ebenfalls solche Gebilde im gut aufgeschlossenen Z 1 — vgl. Richter-Bernburg [29] — von Neuhof-Ellers („Beginn der Salzhorstbildung in kleinem Rahmen"):

> „Die Verkürzung der Faltenschenkel kann soweit gehen, daß sie nur noch Kuppen bilden, bei denen eine bevorzugte Streichrichtung nicht mehr festzustellen ist."

Während im Falle von Kuppen, Warzen oder ähnlichen Formen eine Faltung nicht vorstellbar ist, können Faltenformen durchaus im Zuge von Beulungen entstehen. Eingedenk der physikalischen Eigenschaften der Salzgesteine kann man sich vorstellen, daß eine noch unverbogene Salzschichtfolge im Bereich einer vorgezeichneten Ellipse eingebeult wird und danach eine echten Falten sehr ähnliche Form liefert. Da die Umrandungen der so einzubeulenden Flächen beliebig gewählt werden können, ergeben sich die verschiedensten Formen. Eine „Kuppe" ist dabei ein Sonderfall, der nicht bevorzugt aufzutreten braucht.

Für „Kulissenfalten", die sich durch steilstehende „Faltenachsen" auszeichnen, hat F. Lotze [19, S. 305 bis 307] nachgewiesen, daß es sich nicht um Falten im echten Sinne handelt:

> „Der mechanische Charakter der Kulissenfaltung offenbart sich in verschiedenen Gesetzmäßigkeiten: bei den herzynischen Kulissen sind Sättel, d. h. Vorsprünge der inneren Salzschichten und Mulden, d. h. Einsprünge der randlichen Salze, hinsichtlich der Materialverteilung keine korrelaten Gebilde wie bei echter Faltung. Hauptanhydrit und Grauer Salzton sind nur in den Mulden vorhanden, in denen sie sich als dicke Klötze an ziemlich geraden, rheinisch streichenden Linien aufreihen. Die Kulissenfaltung bringt für den Hauptanhydrit keine Einengung, denn

---

[1] Auszug aus der Dissertation des Verfassers: „Gefügekundliche Untersuchungen an Anhydritgesteinen im Benther Salzstock (Werk Ronnenberg) bei Hannover". Freie Universität Berlin 1961.

[2] Die Zahlen in eckigen Klammern verweisen auf das Schrifttumsverzeichnis am Schluß des Aufsatzes.

[3] Die untersuchten Anhydritgesteine bilden im Verhältnis zu den sie umgebenden Salzschichten geringer mächtige Zwischenpartien, deren Gefüge von den Salzformungen weitgehend gestaltet werden. Deshalb können aus der Verformung der Anhydritgesteine Rückschlüsse auf die Salzformung gezogen werden.

wenn man die an den Flanken und Sätteln aufgereihten Anhydritbrocken wieder an die Anhydritbrocken der Mulden ansetzt, bleibt kein Überschuß, kaum läßt sich die primäre Anhydritmauer aus den Bausteinen rekonstruieren."

Diese Bilanzen wurden in einem Salzhorstbereich gezogen, der an die jetzt vom Verfasser untersuchten Strukturen anschließt. Beide Gebiete zeigen denselben Baustil, so daß die Ergebnisse Lotzes auch auf die hier untersuchten Strukturen bezogen werden können.

Ohne gefügeanalytisch Beulen nachweisen zu können, die jedoch durch die angeführten Befunde gesichert erscheinen, wurde lediglich überprüft, ob die in den Anhydritgesteinen auftretenden Gefügedaten den bei Beulen zu erwartenden entsprechen. Daneben können noch einige andere, damit zusammenhängende Fragen beantwortet und Aussagen über den Mechanismus der Kornregelung gemacht werden.

Entnahme orientierter Proben und Vorbereitung zur Messung unter dem Mikroskop

Die kompakten Anhydritgesteine besitzen in der Regel keine Schichtfugen, die man einmessen und auf denen man geographische Orientierungen anbringen könnte. Daher wird bei der Orientierung der Handstücke, die meist am Stoß geschlagen werden, zunächst die horizontale Ebene auf dem Anhydritbrocken markiert. Dies geschieht mittels der Wasserwaage des Geologenkompasses auf zwei gegeneinander geneigten Bruchflächen des Handstückes. Außerdem muß man zwei, sich um 90° unterscheidende Himmelsrichtungen mit entsprechenden Pfeilen anbringen, sowie ein Zeichen für oben und unten. Anschließend mißt man sogleich das Streichen und Fallen am Ort der Probenahme.

Im Labor wird je ein Schnitt in der horizontalen Ebene und der Schichtfläche angebracht. Die Schnittkante beider so erhaltenen Flächen ist das Streichen, das nach Pei Keng Leng mit y′ bezeichnet wird; vergl. [23, S. 20 u. 21]. Die Achse des Fallens (x′) steht in der Schichtfläche senkrecht auf dem Streichen. Das Lot auf die Schichtfläche ergibt die dritte Gefügeachse z′.

Die Schichtfläche des Handstückes muß zur Untersuchung unter dem Mikroskop in horizontale Lage gebracht werden, das Handstück muß also um die Achse des Streichens (vgl. Braitsch [5]) im Ausmaß des Einfallwinkels gedreht werden. Die Gefügeachsen liegen nach Aufkleben der Gesteinslamelle parallel zu den Seiten des Objektträgers. Die Dünnschliffe werden aus drei zueinander senkrecht stehenden Ebenen des Gesteins hergestellt, und zwar in den Ebenen (x′ y′), (y′ z′) und (x′ z′). Die Schliffe werden außer der Schliffnummer noch nach der auf ihnen senkrecht stehenden Achse bezeichnet (z. B. II z′). Nach Ausmessung der Schliffe müssen die gezeichneten Gefügediagramme in die Lage rückgedreht werden, die die entsprechende Gesteinslamelle vor der Horizontalkippung des Handstücks im Gesteinsverband innehatte.

Optische Einmessung des Anhydrits

Es wurde die von K. Lamcke [16] erprobte Methode angewandt, mit den Spaltflächen gleichzeitig die Hauptschnitte der Indikatrix einzumessen. Benutzt wurde ein U-Tisch[4] von Leitz. Wegen der hohen Doppelbrechung des Anhydrits gestaltet sich bei Schliffen, deren Dicke nicht weit genug herabgesetzt werden kann, die Einmessung von Körnern in den Schnittlagen schwierig, die Interferenzfarben im Grau höherer Ordnung liefern. Ohne auf Einzelheiten des prinzipiellen Einmeßvorganges einzugehen, die von K. Lamcke [16] dargelegt worden sind, ist zu sagen, daß jede beliebige Kornschnittlage eingemessen werden kann.

Ein besonderes Problem ist, daß man nach Einstellung einer deutlichen Spaltfläche, (010) oder (001), in Schnitten etwa parallel (001) oder (010) zunächst noch nicht weiß, welche von beiden vorliegt, da eine Prüfung des optischen Charakters mit dem Berekschen Kompensator in beiden Schnittlagen gleiche Ergebnisse liefert. In beiden Fällen entsprechen die Spuren der guten und der schlechten Spaltbarkeit — hier stets (100) — dem größeren bzw. kleineren Brechungsindex. Schwenkt man nach Einstellung der fraglichen guten Spaltflächen und nach Diagonalstellung um A_4, so fallen in beiden Fällen die Interferenzfarben nach beiderseitigem Schwenken jeweils ab, ohne daß der Schwenkbereich von A_4 ($\leq 60°$) ausreicht, eine optische Achse parallel der Tubusachse zu stellen. Man nähert sich lediglich in beiden Fällen einer optischen Achse, einmal in (010), das andere Mal in (001) schwenkend.

An sichergestellten Beispielen[5] von (001)- und (010)-Spaltflächen in Schnitten etwa parallel (010) bzw. (001) wurde eine Methode geprüft, nach der man beim Messen die beiden guten Spaltbarkeiten unterscheiden kann. Man stellt zunächst wieder die gute Spaltbarkeit parallel zu Vertikalfaden und Tubusachse. Erhält man bei stärkster A_4-Schwenkung keine optische Achse ins Bild, so dreht man um A_5, bis der Tisch in Diagonalstellung steht. Sodann schwenkt man soweit wie möglich um A_4, wodurch die a-Achse entweder in der (010)-Ebene (1. Fall) oder in der (001)-Ebene (2. Fall) der Tubusachse genähert wird. Im ersten Falle erhält man beim Kippen um A_2 (nach extremer Schwenkung um A_4) nach beiden Seiten hin ansteigende Interferenzfarben, im zweiten Falle nähert man sich beim Kippen um A_2 den optischen Achsen, die je 22° von der a-Achse in der (010)-Ebene entfernt liegen. Somit wäre zu erwarten, daß beim Kippen um A_2 die Interferenzfarben nach beiden Seiten aus der Einstellungslage der guten Spaltbarkeit zunächst abfallen und dann wieder ansteigen. Ein Abfallen der Interferenzfarben nach beiden Seiten tritt jedoch nur dann ein, wenn man kleine α_2 zur Einstellung von (001) benötigt hat. Anderenfalls läßt die extreme „Schliffdicke", die durch Schräglage des Schliffes nach dem Kippen um

[4] Bezeichnung nach Berek [4]
A_1 — A_5 : U-Tisch-Achsen
M_1 — M_5 : zugehörige Meßkreise
α_1 — α_5 : an den verschiedenen Meßkreisen abgelesene Werte.

[5] Auf (010)-Flächen schneiden sich beispielsweise die Spuren der beiden Zwillingslamellen-Systeme in Winkeln von rd. 96 und 84°.

A_2 und Schwenken um A_4 entsteht, die Interferenzfarben nur nach einer Seite zunächst abfallen, und zwar beim Kippen um A_2 in Richtung Nullage. Kippt man um A_2 nach der anderen Seite über die Einstellungslage hinaus (dies geschieht in der Richtung, in die schon zur Einstellung der Spaltfläche gekippt wurde), so bleiben die Interferenzfarben konstant oder steigen sogleich an.

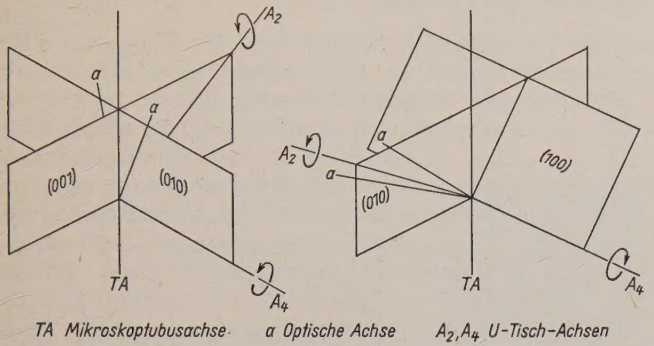


Abb. 1. Raumverhältnisse nach Schwenken um die U-Tisch-Achse A 4.

Der umgekehrte Effekt bei der analogen Operation mit einer (010)-Fläche, der die gekennzeichnete Unterscheidungsmöglichkeit der Spaltflächen nach (001) und (010) beseitigen würde, konnte niemals beobachtet werden.

Bei diesen Operationen ist zu bedenken, daß beim Kippen um A_2 (z. B. nach Vertikalstellung der (001)-Ebene und der a-Achse) nicht etwa genau in (010) gedreht wird. Vielmehr entfernt sich die (010)-Ebene mit steigenden Kippbeträgen zusehends aus vertikaler Stellung, die sie nur innehat, solange die a-Achse parallel der Tubusachse steht. Die Raumverhältnisse sind in Abb. 1 schematisch dargestellt. Bei extremen Schwenkbeträgen um A_4 wird A_2 aus horizontaler Lage bis zu einem „Einfallen" von meist 40—60° geneigt. Abb. 1 zeigt auch die Verhältnisse, wenn es beim Schwenken in (010) nicht gelungen ist, eine optische Achse vertikal zu stellen. Beim Kippen um A_2 wandern die in vertikaler diagonaler Ebene liegenden optischen Achsen aus dieser heraus. Der Winkel zwischen Tubusachse und benachbarter optischer Achse vergrößert sich ständig.

Korngefüge der verschiedenen Aufschlüsse

Bei den untersuchten Gefügen können zwei Typen unterschieden werden: einmal Gefüge vorwiegend aus Kristallaggregaten, zum anderen gänzlich oder überwiegend aus Einzelkörnern zusammengesetzt. Beide Typen, zwischen denen weitgehende Übergänge möglich sind, treten sowohl im Hauptanhydrit als auch in Anhydritmitteln auf. Vermessen wurden nur Gefüge des zweiten Typs.

Sowohl die Proben und Schliffe als auch die im Anhang wiedergegebenen Diagramme sind jeweils mit denselben Ziffern (I—VIII) gekennzeichnet wie die Aufschlüsse, deren Lage im tektonischen Formungsbild aus dem geologischen Teilriß in Abb. 2 ersichtlich ist.

Als Faserlängenachse der radierstrahligen Wachstumsgebilde[6] („Rosetten"), die verschiedenen Alters sein können (nach O. Renner [26] zum Teil sogar posthum), wurden nach Messung auf dem U-Tisch jeweils nur kristallographische a- oder c-Achsen festgestellt. In ein und demselben Schliff können beide Rosettenarten vorkommen. Niemals wurden Rosetten angetroffen, deren Fasern oder Leisten nach der kristallographischen b-Achse gestreckt waren. In Anhydritgesteinen mit starken Regelzuständen (z. B. Aufschluß II) wurden keine Wachstumsaggregate beobachtet, wohl aber in Gesteinen schwächerer Regelzustände (wie in VIII).

Die sich gegenüber der Umgebung abhebende dunkle Tönung vieler Rosetten[7] wird nach Renner [26] durch dicht aneinander liegende Spaltrisse hervorgerufen. Der Verfasser beobachtete Rosettenlamellen, die in sich kleine bräunliche Flüssigkeitseinschlüsse tragen, von denen in diesem Falle die dunkle Tönung herrührt. Damit ist ein Hinweis gegeben, daß die Rosetten in Gegenwart von Flüssigkeit gewachsen sind.

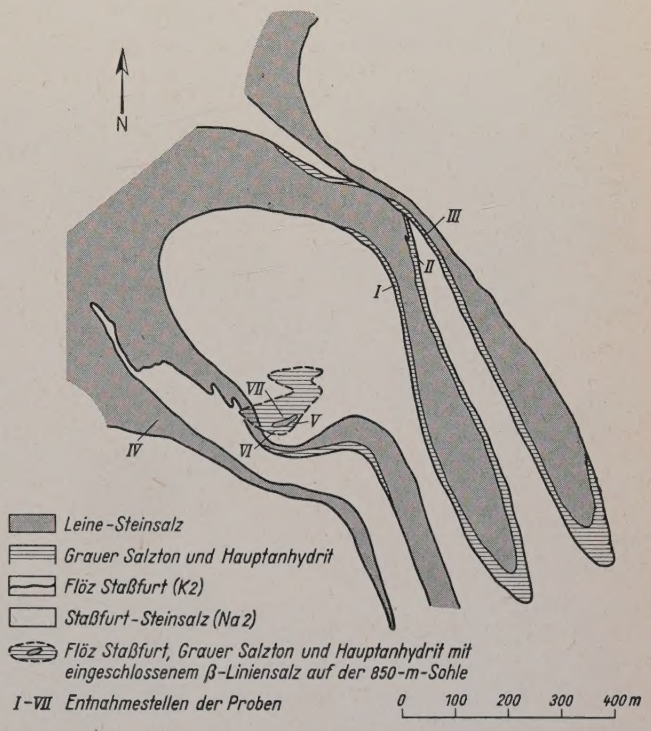


Abb. 2. Kaliwerk Ronnenberg, Benther Feld, Westflanke des Benther Salzstockes, 653-m-Sohle (nach geologischen Unterlagen des Werkes).

Mit Rekristallisationen in Anhydrit ist nach den Untersuchungen J. Leonhardts [17] und G. Golusdas [9] in den Salzhorsten Hannovers nicht zu rechnen.

Die Gefüge des zweiten Typs (überwiegend aus Einzelkörnern zusammengesetzt) zeichnen sich durch unterschiedliche Korngrößen aus. Die untersuchten Hauptanhydritaufschlüsse I, II, III, V und VI, ihre

[6] Anhydritgefüge dieses Typs (Wachstumsgefüge) wurden bereits von vielen Autoren beschrieben oder abgebildet, u. a. von F. Engel [6], W. Herde [12], G. Linck [18], K. Reidemeister [25] und O. Renner [26].

[7] Rosetten treten unter gegebenen Umständen ebenso bei anderen Mineralen auf und stellen eine bestimmte Wachstumsform dar.

Schliffe und deren Diagramme können gemeinsam betrachtet werden, obwohl die Regelzustände verschieden scharf sind. Die kristallographischen b-Achsen der ohne Auswahl vermessenen Körner liegen vorwiegend etwa schichtparallel. Innerhalb der Schichtfläche wird noch eine bevorzugte Richtung angestrebt; sie entspricht der Richtung der letzten wirksamen Dehnung, die zur Ausdünnung der Schichten führte, und der Gleitbewegung, die aus verschieden starker Ausdünnung benachbarter Schichten resultiert.

Hauptanhydritproben mit starken Regelzuständen entstammen aus Partien, die in ihrer Mächtigkeit bedeutend tektonisch reduziert sind. In den Aufschlüssen I, II und III ist so die Mächtigkeit auf etwa 10 % der ursprünglichen verringert worden, was nicht nur durch gleichmäßige Ausdünnung aller Schichten, sondern auch durch Abreißen einzelner Schichtpakete vor sich geht. Im makroskopischen Bild erscheint der Hauptanhydrit jeweils nicht nur wegen seiner Mächtigkeitsreduzierung ausgedünnt, auch die im schwach beanspruchten Hauptanhydrit vorherrschenden Schichtungstypen sind verlorengegangen. Aus ihnen ist ein Einheitstyp geworden, in dem millimeterdicke, anhydritische Tonlagen und zentimeterdicke reine Anhydritlagen rhythmisch wechseln. Obwohl die makroskopisch scharf begrenzten Tonlagen fast den ganzen Bereich derart beanspruchter Hauptanhydritaufschlüsse einnehmen, ist oft noch wie ursprünglich eine generelle Tonabnahme vom Liegenden zum Hangenden feststellbar, ebenso wie die stark ausgedünnte Tonlage und Anhydritschale (z. B. in Aufschluß I). In den Aufschlüssen V, VI, VII ist der Hauptanhydrit in schwächerem Maße ausgedünnt als in den Aufschlüssen I, II und III. Schliff V stammt aus der Liegendregion des Hauptanhydrits, die hier deutlich stärker als die hangenden Teile ausgedünnt worden und grobkristalliner ist. Gleichzeitig tritt auch wieder die schon in den Aufschlüssen I, II und III beobachtete Paragenese von Anhydrit, Sylvin und Kieserit auf. Die meist rötlichen Einschlüsse der beiden Begleitminerale sind an Spalten vorherrschend, gehen von da aus in kompaktes Anhydritgestein über und treten dort allmählich zurück. Kieserit und Sylvin sind im Gegensatz zum Anhydrit xenomorph.

Eine weitgehende Kontinuität der Raumlage von b-Achsen-Maxima in bestimmten Bereichen konnte makroskopisch festgestellt werden (Aufschlüsse I, II, III), wo makroskopisch deutlich geregelte Gesteine vorliegen. Die Ausdehnung der zur Verfügung stehenden Streckenaufschlüsse entspricht hier jeweils der Umrandung einer etwa 5—8 m langen und 2 m breiten Fläche. Die b-Achsen-Maxima tauchen in allen makroskopisch untersuchten Punkten 30—50° nach Norden ein, wobei die Einfallwinkel der Schichtflächen auch innerhalb eines Aufschlusses stärker variieren können. Die weitgehende Kontinuität ermöglicht es, von den Korngefügeregelungen auf die Formung der Salzstrukturen zu schließen.

Obwohl die makroskopischen Beobachtungen über Ausdünnungen für eine mechanische Regelung der Körner sprechen, muß doch untersucht werden, ob auch das Korngefüge Beweise dafür liefert.

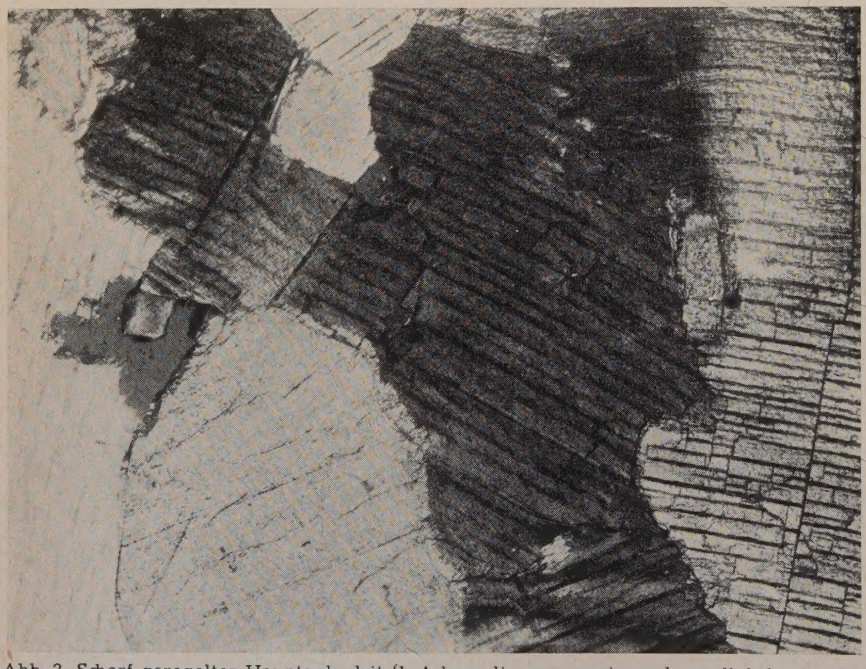


Abb. 3. Scharf geregelter Hauptanhydrit (b-Achsen liegen vorwiegend parallel der Längserstreckung des weißen Kristalls am linken Bildrand). Schliff Iz', + Nik., v = 46.

Der Schluß auf mechanische Beanspruchung ist einmal aus dem häufigen Auftreten von Körnern mit undulöser Auslöschung zu ziehen; vgl. auch Lamcke [16]. Außerdem deuten die oft entsprechend den Spaltrissen stufig begrenzten Körner auf Reibung der Körner an den Korngrenzen hin. Abb. 3 zeigt, wie ein Korn, dessen Längsachse (b) quer zu der — durch die Längsachse des weißen Kristalls markierten — Gleitrichtung liegt, an Rupturen zerschert wird. Der am weitesten links gelegene Teil erscheint nach oben versetzt. Teilweise herrscht undulöse Auslöschung. Ist ein solcher querliegender Kristall zerschert, so werden seine nun nicht mehr b-gestreckten Kornfragmente nach ihrer Gestalt geregelt, zumal sie kaum noch gedreht zu werden brauchen. Nicht nach b gestreckte Körner müssen nicht unbedingt zerschert worden sein, sondern können ursprünglich nach a oder c gestreckte Kristalle darstellen.

Um festzustellen, wie viele der etwa senkrecht zum b-Achsen-Maximum liegenden b-Achsen Körnern angehören, die nach der b-Achse gestreckt sind, wurden die Körnerlängsachsen im schichtparallelen Schnitt vermessen. Dabei wurden bei den vorherrschenden, etwa rechteckigen Formen praktisch die Längsseiten herangezogen, nicht etwa die Diagonalen. Stellt man die Anzahl der etwa senkrecht zum Maximum liegenden b-Achsen der Anzahl der Körnerlängsachsen in

gleicher Position gegenüber, so ist ersichtlich, wie viele dieser Körner nach b gestreckt sind. Verwendet wurden Azimutdiagramme für die Darstellung der Körnerlängsachsen, die wie kristallographische Achsen als Durchstoßpunkte eingezeichnet sind, wobei ein Azimutdiagramm jeweils das entsprechende b-Achsen-Diagramm umgibt, so daß ein direkter Vergleich möglich ist.

Aus dem Diagramm DVz′ (b) im Anhang ist ersichtlich, daß ein großer Teil der senkrecht zum Maximum gelegenen b-Achsen nicht nach b gestreckten Körnern angehört, die nach ihrer Kornform geregelt worden sind und deren Längserstreckungen somit gleichfalls die letzte wirksame Dehnungs- oder Gleitrichtung anzeigen.

K. Lamcke [16] vertritt die Auffassung, daß die vorherrschende Längserstreckung der Körner nach b nur durch Reaktion auf mechanische Beanspruchung der Körner (Translation usw.) entsteht. Ist dies in allen Fällen richtig, so dürfen bei mechanisch geregelten Anhydritgesteinen die Längsachsen b-gestreckter Anhydritkristalle nur im Bereich des Maximums, das die letzte wirksame Dehnungs- und Gleitrichtung anzeigt, liegen. B. Sander [31 b, S. 243] hat den analogen Vorgang für Glimmer dargestellt. Die Körner werden dabei zunächst rotiert, bis die Translationsebene (001) der Gefügeoberfläche nahe genug kommt und das Korn Translation erleidet oder wenigstens nicht mehr rotierbar ist. Auch beim Anhydrit ist (001) eine wichtige Translationsfläche (Translationsrichtung t_1 ist die b-Achse), weitere solche wurden von K. Veit [37] angegeben.

Ein Korn muß also zunächst soweit rotiert werden, bis die kristallographische b-Achse etwa parallel der schichtparallelen Gleitrichtung im Gestein liegt, falls das Korn diese Lage nicht bereits zufällig innehatte. Dann erst kann eine Translation wirken, die zur Kornlängung in Richtung der kristallographischen b-Achse führen würde. Nach b gestreckte Anhydritkörner, die mit ihrer b-Achse zwar schichtparallel mit t_1 aber senkrecht zur allgemeinen Gleitrichtung liegen, werden in ihrer Rotation meist durch intergranulare Reibung behindert, so daß sie bei genügender Beanspruchung intragranular zerscheren oder seltener auch starr bleiben und nach der ursprünglichen Kornform geregelt werden.

Aus den Diagrammen stark geregelter Gesteine ist kein Beweis abzuleiten, ob eine vorherrschende Streckung vor oder nach der Regelung vorlag, da in beiden Fällen ein gleichartiges Gefüge entstehen kann. Die wenigen Beispiele, in denen ein nach b gestreckter Kristall senkrecht zur Gleitrichtung liegt (vgl. Abb. 3), lassen keine Verallgemeinerung zu.

Deshalb wurde ein makroskopisch ungeregelt erscheinendes Gestein (Probe IV, Anhydritmittel 4) gewählt, an dem schon makroskopisch deutlich gestreckte Körner hervortraten. Die mikroskopische Untersuchung ergab bei Schliff IVz′ einen Regelzustand. Das Diagramm DIVz′ (b) der Körner ohne Auslese zeigt das übliche Bild: ein mehr oder weniger schichtparalleles Maximum hat senkrecht zu sich eine schwächere Häufung, was eine mechanische Regelung beweist.

Weiterhin wurden diejenigen Körner getrennt dargestellt, deren b-Streckung durch mehr oder weniger schichtparallele Lage der b-Achsen gesichert war. Außerdem wurden nur Körner herangezogen, deren b-Streckung im schichtparallelen Schnitt $\geq$ 3:1 geschätzt wurde. Das Ergebnis ist in dem Diagramm DIVz′ (bg) dargestellt. Die b-Achsen weisen nach allen Richtungen auf der Schichtfläche, der Bereich des Maximums von DIVz′ (b) ist jedoch etwas stärker besetzt.

Abb. 4. Makroskopisch ungeregelt erscheinender Hauptanhydrit. Schliff VIIz', v = 46.

Somit ist Streckung der in DIVz′ (bg) vereinigten Körner überwiegend durch gerichtetes Wachstum erfolgt. Anderenfalls müßte ein deutliches Maximum stark gestreckter Körner auftreten und keinesfalls dürfte ein so hoher Prozentsatz gestreckter Körner etwa senkrecht zum Maximum in DIVz′ (b) liegen. Entweder sind die Körner nämlich mechanisch in bestimmtem Maße beansprucht worden, dann wären sie rotiert oder zerschert worden, oder sie sind nur sehr schwach beansprucht worden, dann kann die Streckung ohnehin nicht darauf zurückgeführt werden.

Ob die besonders deutlich gestreckten Kristalle vor oder nach dem im Gefüge abgebildeten Formungsakt gewachsen sind, berührt die Frage nach der Möglichkeit einer Wachstumsstreckung nicht. Obwohl Wachstum nach der Deformation vermutet wird, sind zur Klärung dieser Frage eingehendere Messungen nötig, die noch nicht vorgenommen wurden. Jedoch kann auf Grund der behandelten Befunde die Möglichkeit einer

b-Streckung bei mechanischer Beanspruchung nicht verneint werden. Lediglich deren Ausschließlichkeit gilt zumindest für schwache Regelzustände nicht.

Probe VII stammt aus höchstens schwach ausgedünntem Hauptanhydrit. Ein Regelzustand ist makroskopisch nicht erkennbar. Rosetten fehlen (Abb. 4). Die mikroskopische Vermessung liefert jedoch ein deutliches Maximum; siehe Diagramm DVIIz′ (b).

Bisher wurden nur b-Achsen-Maxima diskutiert. Die kristallographischen a- und c-Achsen bilden Fastgürtel senkrecht der jeweiligen b-Achsen-Maxima. Die hier nicht wiedergegebenen Diagramme ähneln den von K. Lamcke [16] bereits veröffentlichten.

Korngefüge und Makrogefüge

Übereinstimmung von Korngefüge und schichtparallelen Harnischen

Im Falle eines Anhydritmittels[8] (=Anhydritbank von 5—200 cm Mächtigkeit) wurden die oft an der Grenzfläche zum Salzgestein auftretenden Rutschstreifen dem b-Achsen-Maximum der Körner gegenübergestellt. Dies konnte nicht am gleichen Anhydritmittel erfolgen, vielmehr mußten das Anhydritmittel 4 bezüglich des Korngefüges und das Anhydritmittel 7 mit seinen Rutschstreifen herangezogen werden, die vertikal etwa 18 m auseinanderliegen. Das Am 7 weist zwei Harnischsysteme (F_1 und F'_1) auf, die verschiedenes Alter haben. Die beiden Richtungen gehen allmählich ineinander über, wie deutlich gekrümmte Rutschstreifen auf der gleichen Schichtfläche zeigen, deren Anfang- und Endrichtungen den beiden Systemen entsprechen.

Schon wegen der nicht parallelen Schichtflächen der verschiedenen Anhydritmittel ist keine genaue Übereinstimmung von b-Achsen-Maximum und Harnischstreifen zu erwarten. Das b-Achsen-Maximum liegt zwischen der Anfangs- und Endrichtung der schichtparallelen Bewegung auf dem 7. Anhydritmittel, also zwischen beiden Harnischsystemen; vgl. DVIIIz′ (b). Übereinstimmend sind aber am 7. Anhydritmittel sowie im Korngefüge des 4. Anhydritmittels Gleitbewegungen auf nach Norden einschiebenden Linien sichergestellt.

Rupturen im Hauptanhydrit

Rupturen im Sinne B. Sanders [31a, S. 101] sind in den meisten Hauptanhydrit-Aufschlüssen zu beobachten. In den Aufschlüssen V, VI und VII, wo sie besonders auffallen, wurde der Charakter dieser Rupturen untersucht, die überwiegend flach einfallende, relativ glatte Trennflächen bilden. Auffallend sind die ziemlich gleichbleibenden Abstände der übereinander liegenden Trennflächen, die in verschiedenen Aufschlüssen auch verschiedene (jeweils in vertikaler Richtung gleichbleibende) Beträge aufweisen, und zwar von etwa 3—10 cm.

Zunächst ist die Frage zu klären, ob diese Trennflächen Scherfugen sind, entstanden durch Tangentialspannungen, oder aber Reißfugen, entstanden durch Normalspannungen. Gegen die erste Art der Entstehung spricht das nicht korrelat dazu geregelte Korngefüge; vgl. DVIz′ (b). Makroskopisch erkennbare Versatzbeträge auf den Trennflächen („Plattung"), die sich an den durch die Rupturen beliebig geschnittenen Spuren der Schichten an Stoß und Firste zeigen müßten, wurden nicht festgestellt. Dabei ist nur eine mögliche Bewegungsrichtung, die parrallel der Schnittkante von Schichtebene und Rupturfläche verläuft, nicht erkennbar.

Sorgfältig angefertigte Schliffe senkrecht zur Plattungsfläche zeigen im Korngefüge direkt an der Trennfläche keine Besonderheiten, die auf Scherung deuten könnten. Die kristallographischen b-Achsen stoßen beispielsweise in Schliff Vp meist etwa senkrecht auf die Trennfläche. Einzelne Kristalle werden nicht auf Flächen parallel, sondern etwa senkrecht zur Trennfläche zerschert. Dies ist aber die oben beschriebene Art, wie Körner, die mit ihrer Längsachse etwa senkrecht zur schichtparallelen Gleitrichtung liegen, zerteilt werden. Der Vorgang ist auf die Entstehung der Rupturen sicher nicht zu beziehen.

Umgekehrt ist daraus zu schließen, daß keinesfalls Scherfugen vorliegen, falls die fraglichen Rupturen nach dem schichtparallelen Gleitvorgang angelegt wurden. Wären die Rupturen älter als die letzten, während der Ausdünnung erfolgten schichtparallelen Gleitbewegungen, die die Körner schichtparallel eingeregelt haben, so müßten die Rupturen infolge der Dehnung sich heute als stärker klaffende Spalten darbieten. Tatsächlich liegen die durch Rupturen getrennten Partien direkt aufeinander. Weiterhin treten undulöse Auslöschungen an Körnern direkt an der Trennfläche nicht häufiger auf als in weiter von der Trennfläche entfernten Bereichen. Somit fehlen Hinweise auf Scherfugen.

Die hiernach vorliegenden Reißfugen sind bei den starken Längungen der Anhydritschichten, die während der Verformungsvorgänge erfolgten, gut vorstellbar. Allerdings besteht wohl kein direkter Zusammenhang zwischen der Entstehung der Reißfugen und der schichtparallelen regelnden Bewegung, da z. B. in DVIz′ (b) die Plattungsfläche nicht senkrecht zum b-Achsen-Maximum liegt.

Keinesfalls sind Schärfe der Regelung und Grad der Ausdünnung umgekehrt proportional der Entfernung der übereinander liegenden Trennflächen. Die Plattung scheint am Schluß der Hauptverformung entstanden zu sein, anderenfalls müßten zumindest an der Salz/Anhydritgrenze geringe Verschiebungsbeträge auf den Trennflächen zuweilen erfolgt sein.

Ob die Vortriebsrichtung V (siehe Abb. 5) jeweils senkrecht auf den Plattungsflächen steht, wie es in einigen Fällen scheint, muß erst noch an weiteren Beispielen überprüft werden.

Gefügedaten und Beulung

Beulen zeichnen sich durch das Fehlen von echten Faltenachsen aus. Die radiär verlaufenden a-Lineare treffen sich an einem Punkte auf der Beule (vgl. Abb. 5). Man kann zwar β-Achsen konstruieren, man erhält

[8] Ronnenberger Feld, 653-m-Sohle, Blindschacht 18a; Probe VIII.

auch bei entsprechenden Beulenformen eine „Faltenachse", jedoch sollte diese Linie besser nach F. Lotze [19] als Scheitellinie bezeichnet werden, um den Unterschied zu echten Falten herauszustellen. Die Scheitellinie ist nämlich nur ein spezielles a-Linear.

Die vorliegenden kristallographischen b-Achsen-Maxima (Gefüge-a) schließen in den Diagrammen mit den zugehörigen „β-Achsen" verschiedene Winkel ein, in Übereinstimmung mit den Verhältnissen bei Beulen, bei denen die Winkelwerte meist zwischen 90°

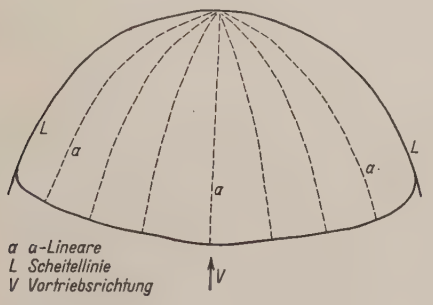


Abb. 5. Oberflächenansicht einer Struktur.

und 0° liegen und nie ein Winkel von genau 0° [9] auftritt (vgl. Abb. 5). Winkel von 90° ergeben sich höchstens an wenigen Punkten einer Beule; dies hängt jedoch auch stark von der jeweils vorliegenden Beulenform ab.

Zusammenfassung

Nach Behandlung der orientierten Probenahme wird dargestellt, wie besondere Schnittlagen der Indikatrix des Anhydrits einzumessen sind. Es konnte jede beliebige Schnittlage eingemessen werden.

Die angetroffenen Korngefüge werden beschrieben, die Diagramme diskutiert. Gefüge ohne Regelzustand liegen nicht vor, obwohl makroskopisch geregeltes und nicht geregeltes Material untersucht wurde. Die Körner wurden je nach ursprünglicher Lage und Gestalt (vor der Verformung) entweder nach dem Kornbau oder nach der Kornform geregelt. „Kornstreckungen" nach der b-Achse können durch Wachstum erfolgen. Die b-Achsen liegen nach Regelung schichtparallel und bevorzugen dabei jeweils eine bestimmte Richtung. Die a- und c-Achsen deuten Gürtel senkrecht zum b-Achsen-Maximum an. Diese Gürtel können an verschiedenen Stellen Maxima haben.

In den meisten der vermessenen Gefüge spiegelt sich wider, daß die regelnde Formung die Kristallisation überdauert. Da die am schärfsten geregelten Gesteine stets mit starker Schichtausdünnung zusammenfallen, wird die Regelung mit den starken Dehnungs- und Gleitvorgängen bei der Bildung der Salzstrukturen in Zusammenhang gebracht. Die Lineationen (Rutschstreifen oder b-Achsen-Maxima) können mit den jeweiligen „β-Achsen" beliebige Winkel einschließen. Obwohl die Möglichkeit des Vorliegens trikliner Tektonite nicht ganz ausgeschlossen werden kann, spricht die fehlende Einengung für Gebilde, die vorwiegend auf Beulungen zurückzuführen sind. Echte Faltungen lassen sich darin nicht erkennen.

In ziemlich regelmäßigen Abständen aufeinanderfolgende, mehr oder weniger parallele Trennflächen erweisen sich als Reißfugen, die jedoch nicht immer senkrecht zu den Lineationen des Korngefüges liegen.

Die Lage der vorliegenden Lineare auf den Faltenformen entspricht der Lage von a-Linearen auf Beulen. Rückschlüsse für die Praxis aus a-Linear und Scheitellinie erscheinen deshalb durchaus möglich. Steht beispielsweise das a-Linear mehr oder weniger senkrecht auf der Scheitellinie, so bildet deren Kurvenlauf ein deutliches Maximum oder Minimum. Weicht der entsprechende Winkel stark von 90° ab, so sind Prognosen auf den weiteren, noch unbekannten Verlauf der Scheitellinie bedeutend schwieriger.

Mit den bisher wenigen gefügekundlichen Untersuchungen in Salzhorsten ist lediglich ein Anfang gemacht. Weitere Forschungen könnten für die Praxis sehr wichtige Ergebnisse liefern.

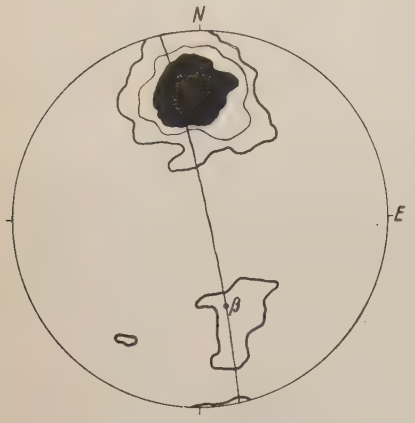
Anhang

Erläuterungen zu den wiedergegebenen Diagrammen

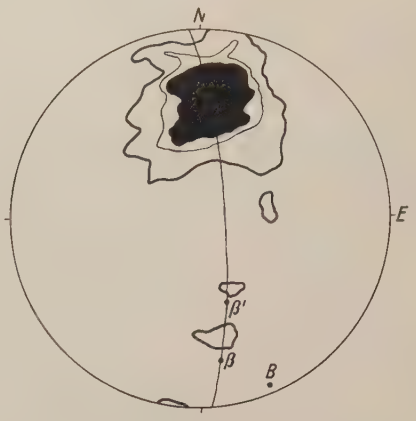
In allen Fällen sind Gerade nur als Durchstoßpunkte dargestellt. Falls nichts anderes vermerkt, enthalten die Diagramme jeweils 200 Durchstoßpunkte. Sämtliche Liniendiagramme sind mit dem 1 %-Kreis in übereinstimmender Weise ausgezählt und gezeichnet: $>$ 5-4-2-0. Die Flächen der Maxima ($>$ 5 %) sind schwarz angelegt. Zwischen den Bereichen der 4 %- und 3 %-Besetzungsdichte liegen dünnere, zwischen denen der 2 %- und 1 %-Besetzungsdichte stärker gezeichnete Kurven. Ein Azimutdiagramm ist in einem Falle angefügt, um neben den kristallographischen Achsen auch die Längserstreckungen der Körner in der Schliffebene darzustellen. Dabei wurde der gleiche Auszählmodus wie bei den Diagrammen der kristallographischen Achsen angewandt (schwarzes Feld: $>$5 %, eng gepunktetes Feld: 5 und 4 %, weit gepunktetes Feld: 3 und 2 %, weißes Feld: 1 und 0 %). Außer der Probenummer ist bei der Diagrammbezeichnung auch noch die auf dem zugehörigen Schliff senkrecht stehende Gefügeachse angegeben, in Klammern die dargestellten kristallographischen Achsen. In den rotierten Diagrammen erscheint die Schliff- bzw. Schichtfläche als Großkreis, auf dem das jeweilige b-Achsen-Maximum liegt.

Die Diagramme sind nach der Schmidtschen Methode gezeichnet; vgl. B. Engels [7]. Die Bereiche der Besetzungsdichte 0 sind nicht von denen der 1 %-Besetzungsdichte abgetrennt, da sonst durch die erfaßten Pole weniger formgeregelter und nicht nach b gestreckter Körner mit zufällig schräg zu den kristallographischen Achsen liegenden Begrenzungen die gute Übersichtlichkeit der Diagramme für den Nichtspezialisten verlorengegangen wäre. Dadurch wird keine wesentliche Gesetzmäßigkeit in den Diagrammen verschleiert.

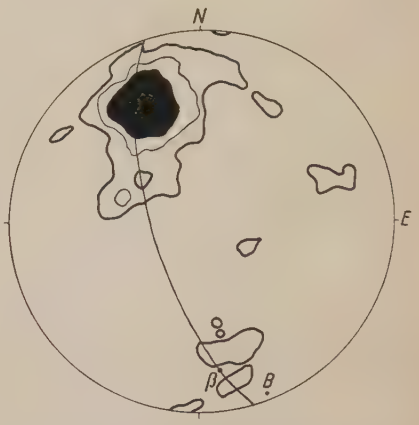
[9] Ausgenommen bei solchen Strukturen, wo Scheitellinie und Vortriebsrichtung in Teilbereichen parallel laufen.



DIz' (b): Makroskopisch geregelt erscheinender Hauptanhydrit.

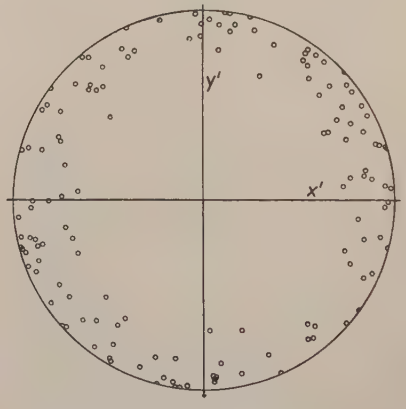


DIIz' (b): 300 b-Achsen, β' = β-Achse des Hauptanhydrits der Muldenstruktur. β = β-Achse des Hauptanhydrits der Sattelstruktur. B = B-Achse im Staßfurt-Steinsalz der Sattelstruktur (Verlauf der „Faltenachse" innerhalb von 3 m als Gerade angenommen).

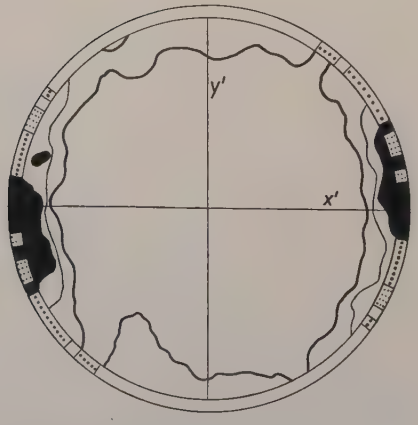


DIIIz' (b): $\beta = \beta$-Achse des Hauptanhydrits (entspricht β in DIIz' (b)) B = B in DIIz' (b).

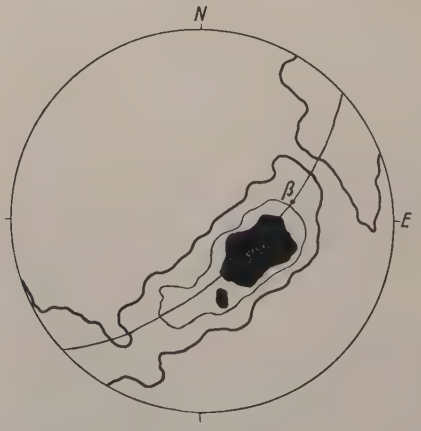
DIVz' (b): Nicht rotiertes Diagramm mit 335 b-Achsen ohne Auswahl.



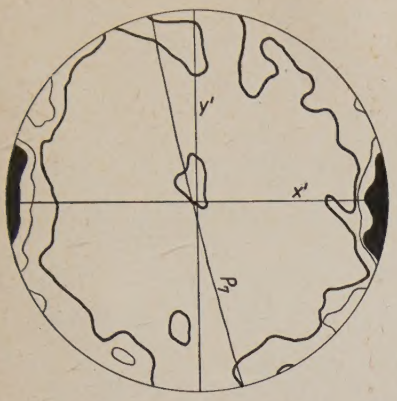
DIVz' (bg): 132 b-Achsen-Pole von stark nach b gestreckten Körnern, Diagramm nicht rotiert.



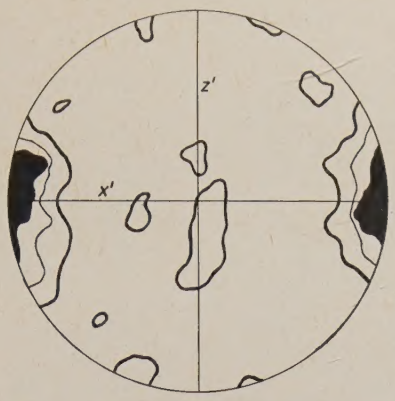
DVz' (b): Diagramm nicht rotiert. Das angefügte Azimutdiagramm zeigt die Verteilung der Körnerlängsachsen.



DVz' (b): rotiert.



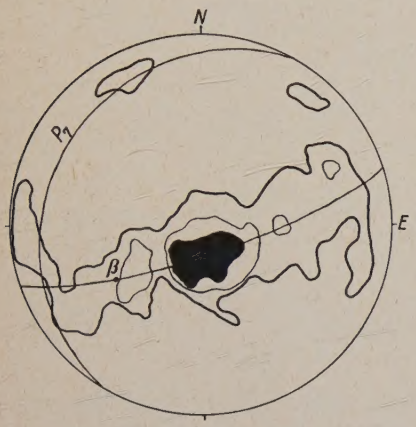
DVIz' (b): P_7: die zugehörige gemessene Plattungsfläche; Diagramm nicht rotiert.



DVIy' (b): nicht rotiert.

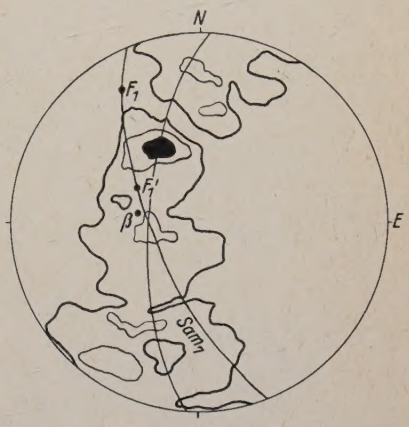
DVIx' (b): nicht rotiert.

Die Maxima der drei verschiedenen Diagramme von Schliffen verschiedener Schnittlage sind identisch, da z. B. die y'-Achse in allen drei Diagrammen den gleichen Winkel mit dem jeweiligen Maximum einschließt; mehr oder weniger senkrecht zum Maximum liegt jeweils in der Schichtebene eine gewisse Häufung von nach der a- oder c-Achse gestreckten Körnern.



DVIz' (b): rotiert.
P_7: Zugehörige Plattungsfläche.

DVIIz' (b): Makroskopisch ungeregelt erscheinender Hauptanhydrit.



DVIIIz' (b): Korngefüge des Am 4 (Anhydritmittel 4). β = β-Achse des Am 8. F_1 und F'_1: Harnischrutschstreifen auf der Schichtfläche des Am 7.

Schrifttum

1. Ahlborn, O., und G. Richter-Bernburg: Exkursion zum Salzstock Benthe (Hannover) mit Befahrung der Kaliwerke Ronnenberg und Hansa. Z. Dtsch. Geol. Ges. 105 (1953) S. 855/65.
2. Balk, R.: Struktur Elements of Domes. Bulletin of the American Association of Petroleum Geologists, Jan., 1936, Vol. 20, Number 1.
3. Balk, R.: Struktur of Grand Saline salt dome, van Zandt County, Texas. Bull. American Ass. Petrol. Geol. 33 (1949) P. 1791/1829.
4. Berek, M.: Mikroskopische Mineralbestimmung mit Hilfe der Universaldrehtischmethoden. Berlin 1924.
5. Braitsch, O.: Tektonische Ausdeutung von Gefügediagrammen mittels Kugelprojektion. Heidelb. Beitr. Min. Petrogr. 4 (1954) S. 1/5.
6. Engel, F.: Beiträge zur chemischen und petrographischen Kenntnis der Salzlagerstätte von Salzdetfurth. Diss. Leipzig 1913.
7. Engels, B.: Die kleintektonische Arbeitsweise unter besonderer Berücksichtigung ihrer Anwendung im deutschen Paläozoikum. Geotektonische Forschungen H. 13. Stuttgart 1959.
8. Friedrich, K.: Gefüge und Tektonik im Hartsalz des Werragebietes. Z. Dtsch. Geol. Ges. 111 (1958) S. 502/24.
9. Golusda, G.: Zur Rekristallisationsfrage in der Petrographie nebst einem experimentellen Beitrag zur Rekristallisation von Steinsalz, Sylvin und Anhydrit. Diss. Kiel 1939.
10. Haff, J. C.: Preparation of Petrofabric Diagramms. American Mineralogist Vol. 23 (1938) P. 543/74.
11. Hartwig, G.: Die Salz-„Seismogramme" und ihre tektonische und praktische Bedeutung. Kali 17 (1923) S. 193/97.
12. Herde, W.: Die Riedelgruppe im zentralen Teil des nordwestdeutschen Zechsteingebietes. Diss. Göttingen 1953.
13. Hoenes, D.: Mikroskopische Grundlagen der technischen Gesteinskunde. In: Handbuch der Mikroskopie in der Technik, Band IV, Teil 1. Hrsg. Dr. Hugo Freund. Frankfurt/M. 1955.
14. Kühn, R.: Tiefenberechnung des Zechsteinmeeres nach dem Bromgehalt der Salze. Z. Dtsch. Geol. Ges. 105 (1953) S. 647/63.
15. Kühn, R., und W. Schwerdtner: Nachweis deszendenter Vorgänge während der Entstehung der Leine-Serie des deutschen Zechsteinsalzes. Kali u. Steinsalz 2 (1956—59) S. 380/83.
16. Lamcke, K.: Gefügeanalytische Untersuchungen am Anhydrit nebst einem Beitrag zu den optischen und röntgenoptischen Methoden der Gefüge-Analyse. Schriften aus dem mineralogisch-petrographischen Institut der Universität Kiel H. 4 (1937).

17. Leonhardt, J.: Gefüge und Umformung von Salzmassen mit Bezug auf Vorgänge, die an den festen Zustand gebunden sind. Kali 31 (1937) S. 81/86, 91/94, 101/03.

18. Linck, G.: Beobachtungen und ihre Ergebnisse an Gesteinen des mittleren Zechsteins (Hauptdolomit und Grauer Salzton) in Thüringen. Chem. d. Erde. 14 (1942) S. 312/57.

19. Lotze, F.: Steinsalz und Kalisalze T. 1 (Allgemein-geologischer Teil). 2. Aufl. Berlin: Borntraeger 1957.

20. Mairhofer, H.: Beiträge zur Kenntnis des alpinen Salzgebirges. Z. Dtsch. Geol. Ges. 105 (1953) S. 752/76.

21. Mellis, O.: Einiges zur Geometrie der Lagekugelbesetzung. Tschermaks min. und petrogr. Mitt. 4 (1954) S. 138/44.

22. Metz, K.: Lehrbuch der tektonischen Geologie. Stuttgart: F. Enke 1957.

23. Pei Keng Leng: Gefügeuntersuchung des Trümmercarnallits von Krügershall zu Teutschenthal, Halle, mit besonderer Berücksichtigung des Carnallitgefüges. Diss. T. H. Berlin 1945.

24. Pflug, R.: Der Diapir von Estella (Nordspanien). Diss. Bonn 1958.

25. Reidemeister, K.: Über Salztone und Plattendolomite im Bereich der norddeutschen Kalisalzlagerstätten. Diss. Kiel 1911.

26. Renner, O.: Salzlager und Gebirgsbau im mittleren Leinetal. Arch. Lagerst.-Forsch. 13 Berlin (Geol. Landesanst.) 1914.

27. Richter-Bernburg, G.: Hauptanhydrit und Salzfaltung. Kali 28 (1934) S. 93/95, 105/07, 122/24.

28. Richter-Bernburg, G.: Über salinare Sedimentation. Z. Dtsch. Geol. Ges. 105 (1953) S. 593/645.

29. Richter-Bernburg, G.: Stratigraphische Gliederung des deutschen Zechsteins. Z. Dtsch. Geol. Ges. 105 (1953) S. 843/54.

30. Rogers and Kerr: Optical Mineralogy. New York and London 1942.

31. Sander, B.: Einführung in die Gefügekunde der geologischen Körper.
31a) I. Teil: Allgemeine Gefügekunde. Wien (Springer) 1948
31b) II. Teil: Die Korngefüge. Wien (Springer) 1950.

32. Schachl, E.: Das Muschelkalksalz in Südwestdeutschland. N. Jb. Geol. Paläont. 98 (1954) S. 309/94.

33. Schmidegg, O.: Die Stellung der Haller Salzlagerstätte im Bau des Karwendelgebirges. Jb. geol. Bundesanst. 94 (1951) Teil 2 S. 159/206.

34. Simon, P.: Stratigraphie und Petrographie des Staßfurt-Steinsalzes in Niedersachsen. Diss. Berlin 1956.

35. Schwerdtner, W.: Zur Stratigraphie und Tektonik der Staßfurt- und Leine-Serie im Salzhorst von Höfer. Diplom-Arbeit. Berlin 1959.

36. Tschöpke, R., und F. Karl: Gefügeanalytische Untersuchungen der Faltungsrichtungen im Tonlöser des Flözes Hessen in der Grube Neuhof-Ellers. Kali u. Steinsalz 2 (1956—59) S. 96/100.

37. Veit, K.: Künstliche Schiebungen und Translationen in Mineralien. N. Jb. f. Min. Geol. u. Paläont. Beilage Bd. 45 (1921/22) S. 121/48.

Die Arbeiten, die Herr Dr. R. Kühn, Hannover, angeregt hatte, konnten dankenswerterweise im Kaliforschungsinstitut Hannover durchgeführt werden. Weiterhin sei hier besonders gedankt Herrn Dr. Autenrieth, Direktor des Kaliforschungsinstitutes, für die starke Förderung der Arbeit, den Herren Bergwerksdirektor Engelke, Dipl.-Ing. Potthoff und Betriebsführer Cording, für die Unterstützung bei den Befahrungen des Werkes Ronnenberg, den Herren Dr. R. Kühn und Dr. W. Herde, Hannover, für viele Hilfen und Hinweise, meinen verehrten Lehrern, den Herren Professor Dr. M. Richter und Professor Dr. K. R. Mehnert für zahlreiche Anregungen sowie Herrn Professor Dr. Paulitsch für die kritische Durchsicht des Entwurfs der Arbeit und für wertvolle Hinweise.